

## ■土木系■ (山岳トンネル)

トンネル外周装薬孔のノッチを利用した  
余掘り低減発破工法

Blasting Method to Reduce Overbreaks Using Notched Blast Holes on Outer Circumference Line of Tunnel

塚本 耕治\* 浜田 元\* 浅野 剛\*\*  
Koji Tsukamoto, Hajime Hamada, Takeshi Asano

## 研究の目的

山岳トンネルの急速施工を実現するためには、穿孔・装薬、発破、ずり出し、支保設置等の個々の作業効率を向上させる必要がある。特に、発破掘削による余掘りが大きくなると、坑外に搬出するずり量が増加するだけでなく、吹付けコンクリートや覆工コンクリートの量が増えることから作業効率が大きく低下する。このような状況を踏まえ、急速施工の手段として発破時の余掘り低減を念頭に置き、そのための有力な方法の一つとして、発破時の亀裂進展方向を制御する方法に着目し、トンネル外周装薬孔にノッチを形成し発破する効率的な発破工法の開発を目的とした。

## 研究の概要

本研究では、ノッチの有無と発破時の亀裂進展の関係を数値解析によって把握するとともに、現場実験によってノッチの形成方法と発破によるノッチの効果に関する検討を行った。トンネル外周装薬孔のノッチ形成には、ウォータージェット（以下、WJ）を用いた。この方法では、図-1のように削孔した装薬孔内にノズル、ノズルヘッド、ランスから構成されるWJノズルツールを挿入し、WJノズルの姿勢をノッチ形成方向にあわせて、超高压水を噴射しながらWJノズルを一定速度で引き出し、装薬孔の孔壁の2か所に連続してノッチを形成する（写真-1）。

亀裂進展の方向制御に必要なノッチ深さを把握するため、発破による亀裂進展の数値解析を実施し、ノッチ深さが10mm以上の深さがあれば効果が得られることを確認した。ノッチ深さ10mmの解析例を図-2に示す。

現場実験では、余掘り低減に対するノッチの効果を検証するため、トンネル外周装薬孔にノッチを形成して発破する実験を孔あたり装薬量の条件を変えて行った。なお、実験では、地山性状の違いが発破掘削の結果に及ぼす影響を極力避けるため、同一の切羽を左右に分けてノッチ付き発破（外周装薬孔にノッチを形成）と標準発破を実施した。



写真-1 ノッチの形成状況

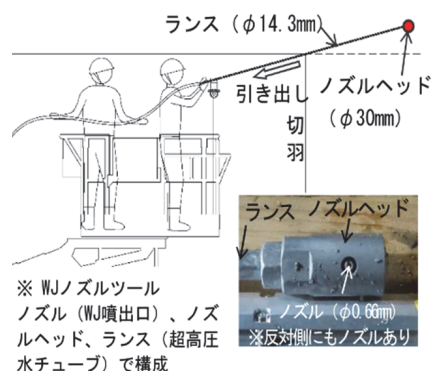
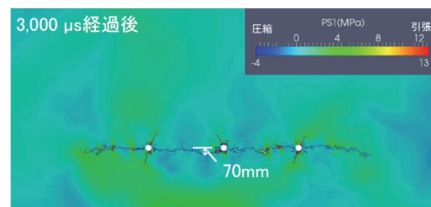


図-1 ノッチの形成方法

図-2 数値解析による亀裂進展状況  
（ノッチ深さ10mm、De=1.73の場合）

## 研究の成果

トンネル外周装薬孔にノッチを形成する方法について数値解析、要素実験および現場実験を実施し、以下の知見を得た。

- i. 数値解析から、ノッチ深さが10mm以上で装薬量を適切にすれば、発破による亀裂進展の方向制御が可能であった
- ii. WJによるノッチ形成の要素実験や原位置での切削実験のノズルの移動速度が異なることから、現場適用時には原位置でのWJによる切削実験を行い、ノズルの移動速度を決める必要があった
- iii. トンネル外周装薬孔にノッチを形成し発破することで、標準パターンの発破に比べ、孔あたり装薬量が同じ場合でも余掘りが85%低減し、また、孔あたり装薬量を2/3にした場合でも余掘りが低減した
- iv. 坑壁の平滑性において、ノッチの効果により坑壁の凹凸の標準偏差の値が半減した

本発破方法の実施により、余掘りの低減や坑壁の凹凸を低減できることを確認した。また、発破による周辺地山への損傷やゆるみの低減も期待できる。